

Biocarvão como condicionar de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas

Biochar as substrate conditioner for the production of seedling of native forest species

Biocarbón como acondicionador de substratos para la producción de plántulas de especies forestales nativas

Recebido: 26/08/2023 | Revisado: 04/09/2023 | Aceitado: 05/09/2023 | Publicado: 07/09/2023

Camilla de Oliveira Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8941-5461>
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
E-mail: camilladeoliveirasouza@hotmail.com

Renato Ribeiro Passos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7730-748X>
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
E-mail: renatoribeiropassos@gmail.com

Elzimar de Oliveira Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7675-2493>
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
E-mail: elzimarog@yahoo.com.br

Resumo

A prática de misturar ou combinar substratos de diferentes origens é comum nos viveiros, sendo o uso de biocarvões um meio para melhorar a composição do substrato, atender as particularidades de cada planta, reduzir custos de produção, e ressignificar materiais que antes seriam descartados no ambiente. Nesse sentido, este trabalho objetivou verificar a influência do uso de biocarvão na produção de mudas de espécies lenhosas, de forma a elucidar doses e composições de substratos que melhor se ajustam à produção de mudas de qualidade. Por meio de uma revisão de literatura dos últimos dez anos, buscou-se verificar as doses recomendadas e os efeitos do biocarvão na composição de substratos. Na literatura, verificou-se o potencial de uso do biocarvão como componente de substrato, principalmente por apresentar estrutura porosa e reativa, capaz de aumentar a disponibilidade de água e outros nutrientes para a planta e abrigar diversos microrganismos benéficos. A dose adequada de biocarvão no substrato pode variar de acordo com a espécie de interesse, sistema de manejo, fonte e proporções de insumos. Dessa forma, concluiu-se que diferentes fontes de insumos, combinações e proporções entre eles afetam de forma variada a produção de mudas, sendo a melhor dose de biocarvão no substrato um assunto complexo e de notória importância quando o objetivo é produzir mudas com qualidade.

Palavras-chave: Silvicultura; Viveiro florestal; Composição de substrato; Espécies lenhosas; Mudas de qualidade.

Abstract

The practice of mixing or combining substrates of different origins is common in nurseries, and the use of biochars is a way to improve the composition of the substrate, meet the particularities of the plant, reduce production costs, and re-signify materials that would be discarded in the environment. This work had the objective of verifying the influence of the use of biochar in the production of seedlings of woody species, indicating the doses and composition of substrates that best adjust to the production of quality seedlings. In a literature review of the last ten years, we sought to verify the recommended doses and the effects of biochar on substrate composition. In the literature, the potential use of biochar as a substrate component was verified, mainly because it has a porous and reactive structure, capable of increasing the availability of water and other nutrients for the plant and being a shelter for several beneficial microorganisms. The appropriate dose of biochar in the substrate composition may vary according to the species of interest, management system, source and proportions of inputs. Thus, it is concluded that different sources of inputs, combinations and proportions between them, affect the production of seedlings in different ways, with the best dose of biochar being a complex matter and of notable importance when the objective is to produce seedlings with quality.

Keywords: Forestry; Forest nursery; Composition of substrates; Woody species; Quality seedlings.

Resumen

La práctica de mezclar o combinar sustratos de diferentes fuentes es común en los viveros, y el uso de biocarbón es una forma de mejorar la composición del sustrato, atender las particularidades de cada planta, reducir los costos de producción y dando un nuevo valor a materiales que antes se consideraba residuo en el medio ambiente. Este trabajo

tuvo como objetivo verificar la influencia del uso de biocarbón en la producción de plántulas de especies leñosas, para determinar dosis y composiciones de sustratos que mejor se ajusten a la producción de plántulas de calidad. Mediante de una revisión de la literatura de los últimos diez años, se buscado verificar las dosis recomendadas y los efectos del biocarbón en la composición de los sustratos. En la literatura se verificó el uso potencial del biocarbón como componente del sustrato, principalmente porque tiene una estructura porosa y reactiva, capaz de aumentar la disponibilidad de agua y otros nutrientes para la planta y ser refugio de varios microorganismos benéficos. La dosis adecuada de biocarbón en la composición del sustrato puede variar según la especie de interés, el sistema de producción, la fuente y las proporciones de los insumos. Así, se concluye que diferentes fuentes de insumos, combinaciones y proporciones entre ellos, afectan la producción de plántulas de diferente manera, siendo la mejor dosi del biocarbón un asunto complejo y de notable importancia cuando el objetivo es producir plántulas de calidad.

Palabras clave: Silvicultura; Vivero forestal; Acondicionador de suelo; Especies leñosas; Plántulas de calidad.

1. Introdução

O incremento na produtividade de povoamentos florestais está fortemente relacionado à utilização de mudas de qualidade superior, sendo a escolha do substrato um dos principais aspectos que afetam a produção de mudas e as chances de sucesso no campo (Trazzi et al., 2013). O substrato ideal deve ser de fácil aquisição e baixo custo; apresentar uniformidade em sua composição, baixa densidade, boa capacidade de campo, troca de cátions e retenção de água; ser livre de pragas e patógenos; possuir elevada porosidade, adequada aeração e drenagem (Lustosa et al., 2015).

Substratos comerciais oriundos de materiais orgânicos com turfa, palha de arroz, casca de árvore, pó de coco e vermiculita enriquecida com fertilizantes químicos, geralmente possuem alto custo e são de difícil aquisição no mercado brasileiro (Lustosa et al., 2015; Araújo et al., 2017). Por outro lado, substratos de formulação mais simples, podem não atender a especificidade de cada planta, principalmente as de espécies florestais, fazendo-se necessário adicionar outros componentes para melhorar a qualidade do composto (Trautenmüller et al., 2016). Assim, a busca por insumos de baixo custo que possam melhorar as propriedades físico-químicas dos substratos tem se intensificado nos últimos anos, sendo a reutilização de resíduos orgânicos uma alternativa mais sustentável para reaproveitar os nutrientes contidos nesses materiais.

Segundo Araújo et al. (2017), a utilização de resíduos orgânicos pirolisados, os chamados biocarvões, tem potencial para enriquecer a mistura do substrato, reduzir os custos de produção e mitigar os impactos negativos gerados pelo descarte incorreto dos resíduos no ambiente. Biocarvão (ou biochar) é um produto resistente à degradação química-biológica, que pode ser originário de vegetais, animais e carvão vegetal ou mineral rico em carbono orgânico. Sendo definido como o produto sólido obtido por meio do processo de pirólise, cuja produção é dada pela degradação térmica de uma determinada biomassa em ambiente com controle de entrada ou ausência de oxigênio e com temperaturas entre 300 e 900°C (Batista, 2018).

Estudos mostram o potencial de uso do biocarvão como condicionador de solo (Gómez-Luna et al., 2012; Drake et al., 2015; Fernández-Ugalde et al., 2017; Gao et al., 2017; Lin et al., 2017; Zhang et al., 2017; Ramlow et al., 2018; Zhang et al., 2019; Maia et al., 2021) e de substrato (Cavalcante et al., 2012; Marimon et al., 2012; Petter et al., 2012a; Petter et al., 2012b; Lima et al., 2013a; Lima et al., 2013b; Rezende et al., 2016; Basílio et al., 2020). Contudo, ainda é incipiente o número de trabalhos publicados que abordam a utilização de biocarvão como componente de substrato na produção de mudas de espécies florestais, sobre tudo, as espécies nativas.

Na mistura do substrato, o biocarvão pode reter água, adsorver nutrientes em sua superfície e liberá-los de forma gradual para a planta (Maia et al., 2021); diminuindo os gastos com fertilização e irrigação (Pimenta et al., 2019). Isso é possível devido a sua elevada porosidade e área de superfície específica, que são capazes de adsorver compostos orgânicos solúveis e reter mais água no meio; servindo, ainda, como abrigo para diversos microrganismos benéficos (Madari et al., 2009).

As interações e efeitos do biocarvão na mistura do substrato irão variar em função de sua composição química e estrutural, sendo estas dependentes das condições de pirólise na qual ele foi gerado e das características da biomassa utilizada.

Segundo Toledo et al. (2015), a existência de diversos tipos de resíduos torna este assunto ainda mais complexo, principalmente devido às inúmeras possibilidades de combinações entre eles.

A dose de cada componente na mistura também irá afetar as propriedades do substrato e, conseqüentemente, a qualidade da muda produzida. Nesse sentido, este trabalho objetivou verificar em literaturas disponíveis, a influência do uso de biocarvão na produção de mudas de espécies lenhosas, de forma a elucidar doses e composições de substratos que melhor se ajustam à produção de mudas de qualidade.

2. Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida com base nos dados publicados em livros e documentos acadêmicos (artigos, dissertações e teses) disponíveis em repositórios digitais das plataformas Google acadêmico, portal de periódicos CAPES e SCIELO, onde foram selecionados estudos sobre o uso do biocarvão na mistura de substratos para a produção de mudas de espécies lenhosas.

Foram utilizadas palavras-chaves gerais, como “BIOCARVÃO”, “BIOCARVÃO NO SOLO”, “PRODUÇÃO DE MUDAS COM BIOCARVÃO”, “SUBSTRATOS COM BIOCARVÃO”, “PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS”, entre outros, bem como os respectivos termos traduzidos para a língua inglesa nos repositórios internacionais. Após a pesquisa inicial, foi realizada uma seleção dos trabalhos com a leitura dos resumos, sendo escolhidos trabalhos que abordaram de maneira experimental as temáticas avaliadas nesta revisão, compreendidos preferencialmente no intervalo dos anos de 2012 a 2022. Assim, por meio de uma revisão de literatura narrativa (Rother, 2007), foram desenvolvidos os tópicos “Efeitos do biocarvão na composição de substratos” e “Doses recomendadas de biocarvão na composição de substratos”.

3. Resultados e Discussão

3.1 Efeitos do biocarvão na composição de substratos

O bom desenvolvimento de mudas para a implantação de povoamentos florestais comerciais ou para fins de preservação e recuperação de áreas degradadas está relacionada a boa qualidade do substrato utilizado no viveiro. Segundo Trazzi et al. (2013), a germinação de sementes, o início do crescimento radicular e da parte aérea são dependentes, e estão associadas à boa capacidade de aeração, drenagem, retenção e disponibilidade de água apresentada pelo substrato.

Existem diversos tipos de substratos comerciais, mas nem sempre eles atendem as necessidades específicas de cada planta. Assim, a prática de misturar ou combinar substratos de diferentes origens é comum nos viveiros, sendo o uso de condicionadores de solo um meio para reduzir os custos de produção e melhorar qualidade da composição do substrato.

Os condicionadores de solo são substâncias orgânicas com cadeias carbônicas similares às substâncias húmicas presentes no solo. Quando extraídos da natureza, apresentam composição variada, sendo fonte de ácidos húmicos e fúlvicos (Caron et al., 2015). Esses ácidos são substâncias complexas, originadas da deposição e degradação de resíduos orgânicos e que fazem parte da composição orgânica do solo (húmus).

Além de possuírem alta capacidade de troca de cátions (CTC), as substâncias húmicas afetam positivamente a estrutura física, química e biológica dos ambientes onde estão inseridas, influenciando também o metabolismo e o crescimento das plantas (Caron et al., 2015). De acordo com Araújo et al. (2017), o uso de condicionadores de solos carbonizados (biocarvões) pode enriquecer a mistura do substrato, reduzir os custos de produção e mitigar impactos negativos gerados pelo descarte incorreto dos resíduos no ambiente.

A composição exata do biocarvão varia em função das condições estabelecidas no processo de pirólise e das características apresentadas pela biomassa utilizada, sendo um produto de composição química e estrutural altamente

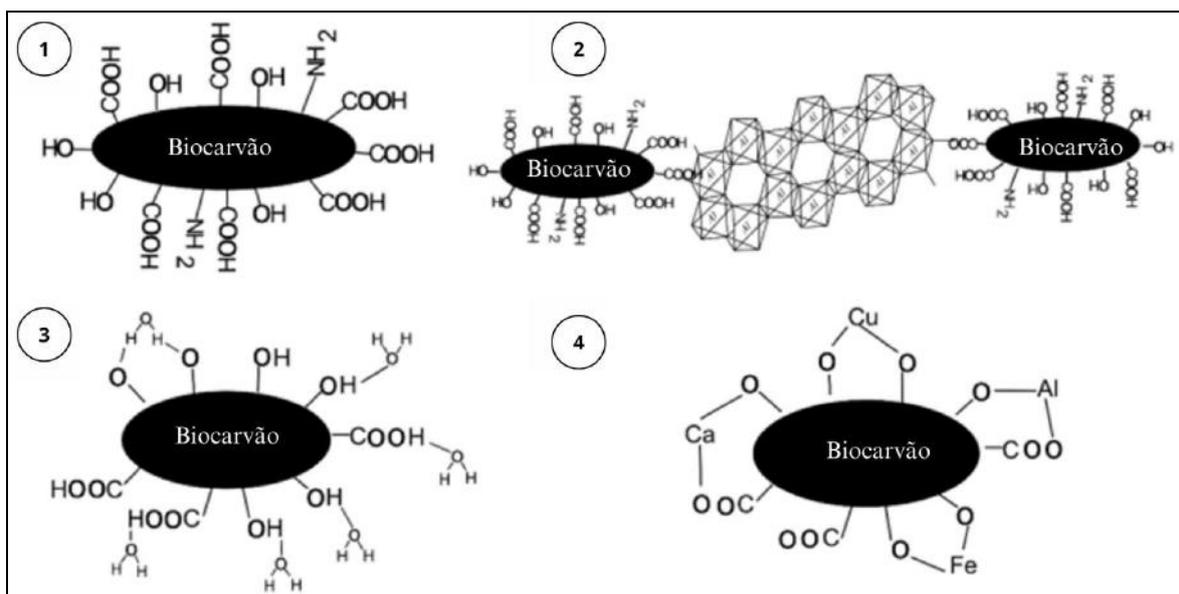
heterogênea. Contudo, algumas propriedades são comuns a eles, como o alto teor de carbono fixo e elevada estrutura aromática, que explicam o seu comportamento recalcitrante.

Em termos gerais, o biocarvão apresenta teor de carbono fixo entre 50 e 90%, teor de material volátil entre 0 e 40%, teor de umidade entre 1 e 15% e teor de cinzas de 0,5 a 5% (Lehamann & Joseph, 2009). Sendo as cinzas composta por elementos químicos fundamentais à nutrição de plantas, como Ca, K, Mg e P, em menor quantidade (Batista, 2018).

O processo de pirólise causa um rearranjo dos átomos de carbono, que aumenta a porosidade do biocarvão e afeta suas propriedades, principalmente por aumentar sua superfície específica e, por consequência, a troca catiônica e adsorção de nutrientes (Atkinson et al., 2010).

As diversas quebras de ligações químicas e rearranjos que ocorrem durante a pirólise aumentam a área superficial do biocarvão e, conseqüentemente, afeta sua capacidade de doar e receber elétrons (Figura 1). Esse comportamento, eleva o potencial do solo ou substrato em reter nutrientes, diminui perdas por percolação e lixiviação e, a longo prazo, reduz a necessidade de reaplicação de fertilizantes químicos (He et al., 2017).

Figura 1 - Estrutura química do biocarvão e suas integrações: biocarvão com estrutura interna inerte e estrutura externa reativa (1); retenção de água entre biocarvões (2); biocarvão na estrutura de solos (3); adsorção de cátions e ânions no biocarvão (4).

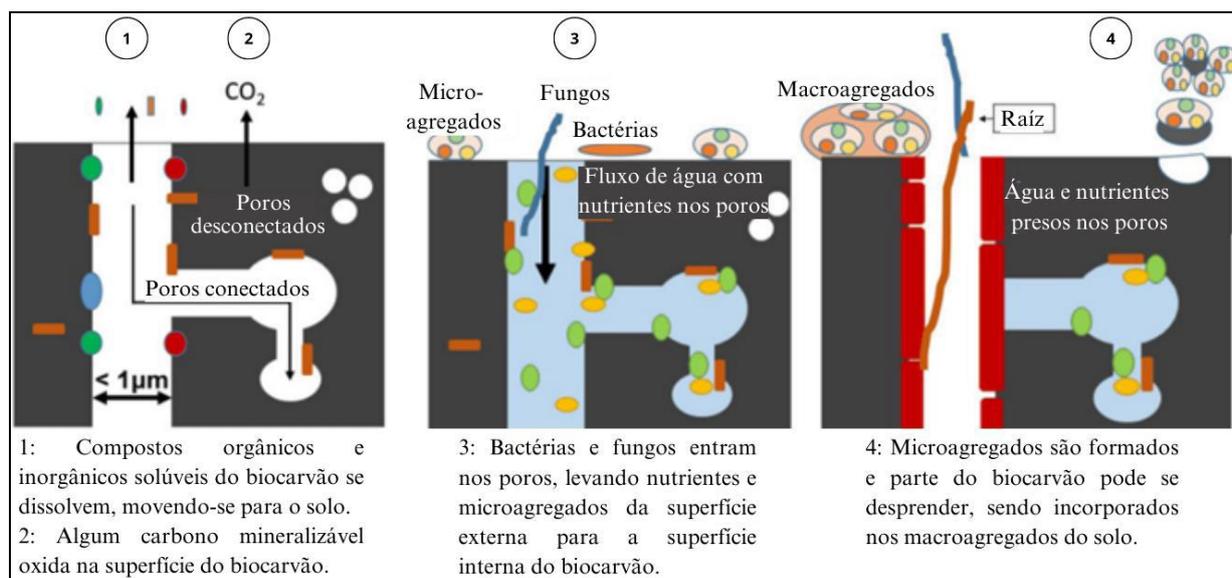


Fonte: adaptado de Rezende et al., (2011).

Na pirólise também há um aumento na concentração de cátions, como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , que propiciam um caráter básico ao meio (Yuan et al., 2011). Além disso, os compostos oxigenados ($-O^-$ e $-COO^-$) presentes na superfície do biocarvão são capazes de capturar H^+ e interagir com cátions básicos, que podem aumentar a capacidade de tamponamento do pH de solos ácidos e diminuir acidez (Han et al., 2020). Por estas razões, quando aplicado no solo, o biocarvão pode elevar os valores de pH, da capacidade de troca de cátions, do teor de carbono orgânico e favorecer a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Trazzi et al., 2018).

A estrutura porosa é uma característica notória do biocarvão. Segundo Song et al., (2014), a ação da temperatura de pirólise promove redução das moléculas de água, formando microporos e elevando, em até 3 vezes, a área superficial do biocarvão. Adicionalmente, o aumento de microporos cria um ambiente propício ao aparecimento e desenvolvimento de bactérias, fungos micorrízicos e outros microrganismos que estabelecem importantes interações com o meio (Figura 2).

Figura 2 – Relações físicas, químicas e biológicas que ocorre nos poros do biocarvão.



Fonte: Adaptado de Marcelino et al. (2020).

Contudo, o controle durante o processo de pirólise é fundamental para se obter o produto desejado, pois com o incremento em temperatura há maior geração de cinzas, redução da porosidade e perda de grupos funcionais no biocarvão (Tomczyk et al., 2020). De acordo com Cardoso et al. (2022), temperaturas excessivamente altas (>700°C), provocam a degradação ou volatilização de compostos aromáticos, perda de carbono, diminuição da porosidade e da área superficial, reduzindo, por consequência, a CTC do biocarvão.

Os efeitos positivos no âmbito químico e físico do biocarvão também são afetados pela densidade, tamanho, composição química, teor dos componentes orgânicos e minerais da biomassa utilizada (Sánchez-Reinoso et al., 2020). Logo, as características da matéria-prima, como alto teor de lignina e presença de grupos carboxílicos, podem favorecer a porosidade e reatividade do biocarvão, aumentando sua capacidade de reter água e outros nutrientes (Novak et al., 2014). Quando comparada aos outros constituintes orgânicos, a lignina possui maior resistência à degradação térmica, principalmente por apresentar estrutura tridimensional complexa de elevada aromaticidade (Haykiri-Acma et al., 2010), o que reflete no aumento do rendimento em biocarvão (Sohi et al., 2010; Zhang et al., 2010). Segundo Wang et al., (2018), a depender do processo de pirólise, até 20% em peso da lignina pode ser convertida em biocarvão.

A maioria dos resíduos lignocelulósicos são adequados para a produção de biocarvão (Tripathi et al., 2016), pois apresentam propriedades químicas desejáveis, como baixo teor de umidade e alto teor de carbono, lignina e nitrogênio (Duku et al., 2011; Alhashimi & Aktas, 2017). No contexto brasileiro, observa-se maior interesse pelas fontes de resíduos agrícolas e florestais, principalmente pelo grande disponibilidade e baixo custo de aquisição (Bonassa et al., 2018; Flores et al., 2018; Silva et al., 2018).

Ao analisarem a eficiência de biocarvão de eucalipto como condicionador de substrato para o desenvolvimento de mudas de tachi branco (*Tachigali vulgaris*), Souchie et al. (2011) verificaram que o biocarvão aumentou significativamente o número de folhas, altura, diâmetro do coleto e a massa seca da parte aérea e do sistema radicular das mudas, sendo uma alternativa para a produção de mudas de melhor qualidade.

Nesse âmbito, estudos como os de Cavalcante et al. (2012), Marimon et al. (2012), Petter et al. (2012a), Petter et al. (2012b); Lima et al. (2013a), Lima et al. (2013b), Rezende et al. (2016) e Basílio et al. (2020), destacam o potencial de uso do biocarvão na composição do substrato, principalmente por afetar positivamente o crescimento inicial de mudas devido a sua

estrutura porosa, superfície reativa e adequadas propriedades físico-hídricas; além de ser fonte de nutrientes e abrigo para microrganismos benéficos, que contribuem para o crescimento da planta.

3.2 Doses recomendadas de biocarvão na composição de substratos

A dose adequada de biocarvão na composição do substrato pode variar de acordo com a espécie de interesse, sistema de manejo, fonte e proporções de insumos utilizados. Petter et al. (2012a), com o objetivo de avaliar o efeito de biocarvões obtidos a partir da fitofisionomia do Cerrado como condicionador de substrato para a produção de mudas de duas espécies de eucaliptos (*Eucalyptus citriodora* e *E. urophylla*), testaram cinco concentrações de biocarvão (0; 7,5; 15; 30 e 60% do v/v) adicionadas ao substrato comercial Germinar® e concluíram que a dose de 7,5% ocasionou o desenvolvimento de mudas de melhor qualidade; enquanto que doses acima de 15% proporcionam uma redução, sendo as melhores respostas observadas em *E. citriodora*.

Resultados semelhantes foram observados por Soares et al. (2021), que para avaliar os efeitos do biocarvão adicionado ao substrato na produção e qualidade de mudas de saboneteira (*Sapindus saponária*) testaram cinco proporções de biocarvão (0%, 7,5%, 15%, 22,5% e 30%) proveniente de moinha de carvão de eucalipto, na presença e ausência de bioestimulante. Ao final do experimento, os autores verificaram que os valores de altura total da muda, diâmetro do colo, volume e comprimento de raiz, assim como suas relações, decresceram à medida que se aumentou a proporção do biocarvão junto ao substrato; com maiores valores obtidos quando não houve a adição de biocarvão no composto e na ausência do bioestimulante.

Soares et al. (2021), também verificaram que a produção de massa seca total, da parte aérea e da raiz reduziram à medida que se aumentou a proporção de biocarvão no substrato, sendo o maior Índice de Qualidade de Dickson (0,71) observado na ausência do bioestimulante e sem adição do biocarvão. Dessa forma, os autores concluíram que o uso de biocarvão na composição do substrato não proporcionou melhorias nas características de crescimento da muda.

Em contrapartida, para verificar a influência de biocarvão e do bioestimulante vegetal na formação de mudas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*), Santos et al. (2022) testaram proporções de biocarvão na composição do substrato (0, 7,5, 15, 22,5 e 30%) na presença (15 mL L⁻¹) ou ausência do bioestimulante comercial Stimulate®; e verificaram que o biocarvão mostrou-se viável, podendo ser adicionado à mistura de substrato para produção de mudas, sendo as proporções próximas a 15% de biocarvão as melhores para os parâmetros diâmetro de colo, altura, área foliar, comprimento e volume de raiz, massa seca de parte aérea e de raízes.

De acordo com a literatura, doses acima de 15% de biocarvão também podem apresentar resultados satisfatórios. Reis et al. (2022), com o objetivo avaliar o efeito do biocarvão resultante da pirólise da casca do coco e do bagaço de laranja no desenvolvimento de mudas de eucalipto (*Corymbia citriodora*), testaram doses de 0, 10, 25 e 50% do volume total de biocarvões adicionados ao substrato comercial “Carolina Padrão”. Ao final do experimento, os autores avaliaram o diâmetro do coleto, altura, peso da matéria seca das raízes, da parte aérea e total, Índice de Qualidade de Dickson e teor de clorofila, constatando que a utilização do biocarvão da casca de coco foi significativamente superior ao biocarvão de bagaço da laranja em relação ao desenvolvimento das plantas, sendo a dose de 25% de biocarvão de casca de coco a que apresentou melhores resultados para os parâmetros avaliados.

Lima et al. (2015), ao avaliarem o efeito de diferentes doses de biocarvão obtido a partir de madeira de espécies nativas do Cerrado na produção de mudas de tingui (*Magonia pubescens*), observaram que a altura, o diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea apresentaram diferenças significativas entre os substratos, sendo a mistura de Latossolo Vermelho + 30% de esterco bovino + 30% de biocarvão a mais eficiente para a produção de mudas com qualidade.

Para avaliar o efeito do tamanho de partícula e da proporção de biocarvão de casca de pequi (*Caryocar brasiliensis*) sobre a produção de mudas de *E. urophylla*, Basílio et al. (2020), testaram quatro granulometrias (<0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-4,0 mm) de biocarvão misturadas ao substrato comercial Bioplant® em cinco diferentes proporções (0; 25; 50; 75% 100% (v/v)) e concluíram que, desde as menores proporções (>25%), a mistura de biocarvão com substrato comercial apresentou melhorias nos atributos físico-químicos do substrato, que aumentou sua porosidade; sendo os melhores resultados fisiológicos, para o índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência, obtidos ao se utilizar granulometrias entre 1 e 4 mm, independente da proporção de biocarvão aplicada.

Ao avaliar os principais atributos físico-hidráulicos e químicos de mudas de acácia negra (*Acacia mearnsii*) cultivadas em substratos com proporções crescentes de biocarvão produzidos a base de lodo de esgoto anaeróbio, Monteiro et al. (2021) testaram dez formulações que continham diferentes proporções de biocarvão, casca de arroz carbonizada e vermiculita, e mais três substratos comerciais de referência; concluindo que a melhor eficiência agrônômica foi obtida nas formulações que continham 45 e 50% de biocarvão.

Adicionalmente, elevadas doses de biocarvão (>50%) também podem ser benéficas quando se objetiva produzir mudas com qualidade. Rezende et al. (2016), avaliando o desenvolvimento e qualidade das mudas clonais de teca (*Tectona grandis*), observaram que a presença de biocarvão ativado (25, 50, 75 e 100%) na mistura do substrato aumentou significativamente o diâmetro do coleto, a altura, a massa seca da raiz e da parte aérea das mudas; além de elevar consideravelmente o Índice de Qualidade de Dickson, que atingiu o pico na dose de 65% de biocarvão, conforme curva do gráfico gerado.

Resultados semelhantes foram observados por Barros et al. (2019), que para avaliar o crescimento inicial de mudas de eucalipto sob a influência de biocarvão produzido a partir do pó-de-serra de resíduos madeireiros, testaram diferentes composições de substratos, verificando que os tratamentos com biocarvão ativado (25, 50, 75 e 100%) e os tratamentos com biocarvão não ativado (75 e 100%) apresentaram os melhores resultados para matéria seca total. Já para os parâmetros altura das mudas e diâmetro do coleto, as melhores respostas foram observadas nos tratamentos com 75 e 100% de ambos os biocarvões. Assim, os autores concluíram que a adição de biocarvão, ativado ou não, na composição do substrato comercial foi benéfica para o desenvolvimento de mudas de eucalipto, principalmente nas proporções mais altas.

Percebe-se, portanto, que diferentes fontes de insumos, combinações e proporções entre eles, afetam de forma variada a produção de mudas, sendo a melhor dose de biocarvão na formulação do substrato um assunto ainda complexo e de notória importância quando se deseja produzir mudas com boa qualidade.

4. Considerações Finais

A germinação e o crescimento inicial das mudas são afetadas principalmente pela capacidade de retenção de água, porosidade, teor nutricional e capacidade de troca de cátions do substrato utilizado, logo, diferentes misturas de substratos irão afetar de forma variada o crescimento de mudas no viveiro. Nesse sentido, a adição de resíduos pirolisados (biocarvão) na mistura do substrato é um assunto pertinente, que vem ganhado destaque na literatura nacional e internacional.

As propriedades do biocarvão variam de acordo com as condições estabelecidas no processo de pirólise e com as características apresentadas pela matéria-prima, assim, mudanças no sistema de produção e no material de origem afetam a eficiência do biocarvão como condicionador de substrato e, conseqüentemente, influenciam a qualidade das mudas produzidas.

Na literatura, verifica-se o potencial de uso do biocarvão como componente de substrato em virtude de sua estrutura porosa e reativa, capaz de aumentar a disponibilidade de água e outros nutrientes essenciais para a planta e abrigar diversos microrganismos benéficos. No crescimento inicial de mudas de espécies florestais, por exemplo, observa-se respostas positivas no uso de substratos com dose de biocarvão entre 7% e 75% (Lima et al., 2015; Rezende et al., 2016; Barros et al., 2019;

Basílio et al., 2020; Monteiro et al., 2021); respostas negativas acima de 15% (Petter et al. 2012a; Soares et al., 2021); e respostas variadas em função da matéria-prima (Reis et al., 2021) e com uso de bioestimulantes (Soares et al., 2021; Santos et al., 2022).

Apesar da complexidade do assunto, muitos pesquisadores atestam que a utilização do biocarvão é uma prática ambientalmente mais correta, com potencial para melhorar a qualidade do substrato e reduzir os custos no viveiro. Entretanto, no Brasil, ainda são escassos estudos relacionados ao uso de biocarvão na composição de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas, estando a maioria dos estudos direcionados a área de produção agrícola e qualidade do solo, como é visto nos trabalhos de Gómez-Luna et al. (2012), Drake et al. (2015), Fernández-Ugalde et al. (2017), Gao et al. (2017), Lin et al. (2017), Zhang et al. (2017), Ramlow et al. (2018), Zhang et al. (2019) e Maia et al. (2021).

Esta falta de estudos robustos se mostra como uma oportunidade para que pesquisadores da área de silvicultura possam desenvolver trabalhos em parceria com pesquisadores da área de solos e, a partir disso, fornecer informações precisas sobre a importância e eficiência do biocarvão na produção de mudas de espécies lenhosas com qualidade. Portanto, recomenda-se o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas a produção de espécies nativas sob a influência de diferentes fontes e doses de biocarvão na composição dos substratos.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Espírito Santo – FAPES pelos financiamentos de pesquisas com biocarvões no estado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsas.

Referências

- Araújo, E. F., Aguiar, A. S., Arauco, A. M. S., Gonçalves, E. O., & Almeida, K. N. S. (2017). Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. *Nativa*, 5(1), 16-23.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J., D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Barros, D. L., Rezende, F. A., & Campos, A. T. (2019). Production of *Eucalyptus urograndis* plants cultivated with activated biochar. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.*, 14(2), 1-6. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5649>
- Basílio, L. J. N., Rodrigues, L. A., Silva, M. S. A., Colen, F., & Oliveira, L. S. (2020). Biochar de casca de pequi como componente de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urophylla* S. T. *Cad. Ciênc. Agrá.*, 12, 01-10. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2020.24836>
- Batista, E. M. C. C. (2018). *Biochar como ligante macromolecular no solo visando aumentar a capacidade de retenção de água nos solos do nordeste do Brasil* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. <https://hdl.handle.net/1884/59431>
- Bonassa, G., Schneider, L. T.; Canever, V. B., Cremonese, P. A., Frigo, E. P., Dieter, J., & Teleken, J. G. (2018). Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(3), 2365-2378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>
- Cardoso Jr., C. D., Pimenta, A. S., Souza, E. C., Pereira, A. K. S., & Dias Jr., A. F. (2022). Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas. *Research, Society and Development*, 11(2). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25999>
- Caron, V. C., Graças, J. P., & Castro, P. R. C. (2015). *Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos*. ESALQ/USP.
- Cavalcante, L., Herbert, L. C., Petter, F. A., Albano, F. G., Silva, R. R. S., & Silva Jr., G. B. (2012). Biochar no substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 111(1), 41-47.
- Drake, J. A., Carrucan, A., Jackson, W. R., Cavagnaro, T. R., & Patti, A. F. (2015). Biochar application during reforestation alters species present and soil chemistry. *Science of The Total Environment*, 514(1), 359-365. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.012>
- Duku, M. H., Gu, S., & Hagan, E. B. (2011). Biochar production potential in Ghana - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3539-3551. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.010>
- Fernández-Ugalde, O., Gartzia-Bengoetxea, N., Arostegi, J., Moragues, L., & Arias-González, A. (2017). Storage and stability of biochar-derived carbon and total organic carbon in relation to minerals in an acid forest soil of the Spanish Atlantic area. *Science of The Total Environment*, 587, 204-213. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.121>
- Flores, J. A., Konrad, O., Flores, C. R., & Schroder, N. T. (2018). Inventory data on Brazilian Amazon's non-wood native biomass sources for bioenergy production. *Data in Brief*, 20, 1935-1941. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.09.050>

- Gao, X., Driver, L. E., Kasin, I., Masiello, C. A., Pyle, L. A., Dugan, B., & Ohlson, M. (2017). Effect of environmental exposure on charcoal density and porosity in a boreal forest. *Science of The Total Environment*, 592, 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.073>
- Gómez-Luna, B. E., Ruiz-Aguilar, G. M. L., Vázquez-Marrufo, G., Dendooven, L., & Olalde-Portugal, V. (2012). Enzyme activities and metabolic profiles of soil microorganisms at KILN sites in *Quercus* spp. temperate forests of central Mexico. *Applied Soil Ecology*, 52, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.10.010>
- Han, L., Sun, K., Yang, Y., Xia, X., Li, F., Yang, Z., & Xing, B. (2020). Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. *Geoderma*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114184>
- Haykiri-Acma, H., Yaman S., & Kucukbayrak, S. (2010). Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocellulose during pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 91(7), 759-764. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.02.009>
- He, L. L., Zhong, Z. K., & Yang, H. M. (2017). Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(3), 704-712. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61420-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61420-X)
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Londres, Inglaterra: London & Sterling.
- Lima, S. L., Marimon Jr., B. G., Petter, F. A., Tamiozzo, S., Buck, G. B., & Marimon, B. S. (2013a). Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(3), 333-341. <https://doi.org/10.4025/actasciagr.v35i3.17542>
- Lima, S. L., Tamiozzo, S., Palomino, E. C., Petter, F. A., & Marimon Jr., B. H. (2015). Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St.-Hil. *Revista Árvore*, 39(4), 655-661. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400007>
- Lima, S. L., Tamiozzi, S., Petter, F. A., Marimon, B. S., & Marimon Jr., B. H. (2013b). Desenvolvimento de mudas de beterraba em substratos comerciais tratados com biochar. *Agrotrópica*, 25(3), 181-186.
- Lin, Z., Liu, Q., Liu, G., Cowie, A. L., Bei, Q., Liu, B., Wang, X., Ma, J., Zhu, J., & Xie, Z. (2017). Effects of different biochars on *Pinus elliottii* growth, N use efficiency, soil N₂O and CH₄ emissions and C storage in a subtropical area of China. *Pedosphere*, 27(2), 248-261. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60314-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60314-X)
- Lustosa Filho, J. F., Nobrega, J. C. A., Nobrega, R. S. A., Dias, B. O., Amaral, F. H. C., & Amorim, S. P. do N. (2015). Influence of organic substrates on growth and nutrient contents of jatob (*Hymenaea stigonocarpa*). *African Journal of Agricultural Research*, 10(26), 2544-2552. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.9781>
- Madari, B. E., Cunha, T. J. F., Novotny, E. H., Milori, D. M. B. P., Martin, L., Benites, V. M., Coelho, M. R., & Santos, G. A. (2009). Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: Teixeira, W. G., Kern, D. C., Madari, B. E., Lima, H. N., Woods, W. I. (Org.), *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental.
- Maia, C. M. B. F., Guiotoku, M., Peixoto, R. T. G., & Vargas, L. M. P. (2021). Biochar e o eucalipto. In: Oliveira, E. B., Pinto Jr., J. E. (Ed.), *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa.
- Marcelino, I. P., Loss, A. L., & Andrade, M. A. N. (2020). Aspectos gerais do uso do biochar para sustentabilidade com ênfase aos atributos edáficos: a revisão. *R. gest. sust. ambient.*, Florianópolis, 9, 301-319. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020301-319>
- Marimon Jr., B. H., Petter, F. A., Andrade, F. R., Madari, B. E., Marimon, B. S., Schossler, T. R., Gonçalves, L. G., & Belém, R. (2012). Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. *Comunicata Scientiae*, 3(2), 108-114.
- Monteiro, A. B., Bamberg, A. L., Pereira, I. dos S., Stöcker, C. M., & Timm, L. C. (2021). Agronomic performance and optimal ranges of attributes of substrates with biochar from anaerobic sewage sludge for black wattle (*Acacia mearnsii*) seedlings. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 10(3), 297-308.
- Novak, J. M., Cantrell, K. B., Watts, D. W., Busscher, W. J., & Johnson, M. G. (2014). Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 330-343. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0680-8>
- Petter, F. A., Andrade, F. R., Marimon Jr., B. H., Gonçalves, L. G., & Schossler, T. R. (2012a). Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Caatinga*, 25(4), 44-51.
- Petter, F. A., Marimon Jr., B. H., Andrade, F. R., Schossler, T. R., Gonçalves, L. G., & Marimon, B. S. (2012b). Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. *Agrarian*, 5(17), 243-250.
- Pimenta, A. S., Oliveira M. N., Carvalho, M. A. B., Silva, G. G. C., & Oliveira, E. M. M. (2019). Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(70). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4194-y>
- Ramlow, M., Rhoades, C. C., & Cotrufo, M. F. (2018). Promoting revegetation and soil carbon sequestration on decommissioned forest roads in Colorado, USA: a comparative assessment of organicsoil amendments. *Forest Ecology and Management*, 427, 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.059>
- Reis, A. M. F., Cordovil, C. M. S., Matos, E. J. S., Gouvea, C. F., Barreiros, R. M., Vanconcelos, M. C., & Silva, G. C. (2022). Efeito do uso do biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja no desenvolvimento de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. In: Pacheco, C. S. G. R., Ribeiro, G. F., Caldeira, M. V. W., Martins, W. F. (Org.), *Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisa*. Guarujá, SP: Editora Científica Digital Ltd. <https://doi.org/10.37885/220809800>
- Rezende, E. I. P., Ângelo, L. C., Santos, S. S., & Mangrich, A. S. (2011). Biocarvão (Biochar) e sequestro de carbono. *Rev. Virtual Quím.*, 3(5), 426-433. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110046>

- Rezende, F. A., Santos, V. A. H. F., Maia, C. M. B. F., & Morales, M. M. (2016). Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesq. agropec. bras.*, 51(9), 1449-1456. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900043>
- Rother, E. T. (2007). Revisão Sistemática X Revisão Narrativa. *Acta paul. Enferm.*, 20(2). <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>
- Sánchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. A., & Restrepo-Díaz, H. (2020). Use of Biochar in Agriculture. *Acta biol. Colomb.*, 25(2), 327-338. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n2.79466>
- Santos, F. P., Lima, A. P. L., Lima, S. F., Silva, A. A. P., Contarde, L. M., & Vendruscolo, E. P. (2022). Biochar and biostimulant in forming *Schinus terebinthifolius* seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(7), 520-526. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n7p520-526>
- Silva, C. M. S., Carneiro, A. C. O., Vital, B. R., Figueiró, C. G., Fialho, L. F., Magalhães, M. A., Carvalho, A. G., & Cândido, W. L. (2018). Biomass torrefaction for energy purposes – Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(3), 2426-2432. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.095>
- Soares, D. C., Lima, S. F., Lima, A. P. L., & Paula, J. A. F. (2021). Uso do biochar e de bioestimulante na produção e qualidade de mudas de *Sapindus saponaria* L. *Ciência Florestal*, 31(1), 106-122. <https://doi.org/10.5902/1980509828677>
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105, 47-82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Song, X. D., Xue, X. Y., Chen, D. Z., He, P. J., & Dai, X. H. (2014). Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *Chemosphere*, 109, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.070>
- Souchie, F. F., Madari, B. E., Marimon Jr., B. H., Petter, F. A., Marimon, B. S., Lenza, E., Silva, T. L. G., & Lima, H. C. (2011). Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. *Ciência Florestal*, 21, 811-821.
- Toledo, F. H.; Venturin, N., Carlos, L., Dias, B. A., Venturin, R. P., & Macedo, R. L. (2015). Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(7), 711-716. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p711-716>
- Tomezyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 19, 191-215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- Trautenmüller, J. W., Borella, J., Lambrecht, F. R., Valerius, J., Costa Jr., S., & Leschewitz, R. (2016). Influência de composto orgânico no desenvolvimento de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire. *Adv. For. Sci.*, 3(4), 55-58.
- Trazzi, P. A., Caldeira, M. V. W., Passos, R. R., & Gonçalves, E. O. (2013). Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). *Ciência Florestal*, 23(3), 401-409. <https://doi.org/10.5902/1980509810551>
- Trazzi, P. A.; Higa, A. R., Dieckow, J., Mangrich, A. S., & Higa, R. C. V. (2018). Biocarvão: Realidade e potencial de uso no meio florestal. *Ciência Florestal*, 28(2), 875-887. <https://doi.org/10.5902/1980509832128>
- Tripathi, M., Sahu J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
- Wang, H., Pu, Y., Ragauskas, A., & Yang, B. (2018). From Lignin to Valuable Products—Strategies, Challenges, and Prospects. *Bioresource Technology*, 271, 449-461. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.072>
- Yuan, J., Xu, R., Qian, W., & Wang, R. (2011). Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. *Journal of Soils and Sediments*, 11, 741-750. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0365-0>
- Zhang, L., Xu, C., & Champagne, P. (2010). Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. *Energy Conversion and Management*, 51(5), 969-982. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.038>
- Zhang, R., Zhao, Y., Lin, J., Hu, Y., Hänninen, H., & Wu, J. (2019). Biochar application alleviates unbalanced nutrient uptake caused by N deposition in *Torreya grandis* trees and seedlings. *Forest Ecology and Management*, 432, 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.040>
- Zhang, R., Zhang, Y., Song, L., Song, X., Hänninen, H., & Wu, J. (2017). Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management*, 391, 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.036>